



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**VÁLCE ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ A
JEJICH APLIKACE**

THE CYLINDERS OF FOUR-STROKE ENGINES AND THEIR APPLICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Burjeta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jozef Dlugoš

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Michal Burjeta
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jozef Dlugoš
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Válce čtyřdobých spalovacích motorů a jejich aplikace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Válce čtyřdobých motorů mají dlouhou historii, během které se vyvinula různá konstrukční řešení nebo použité materiály, které našly uplatnění v odlišných aplikacích. Vývojové trendy reprezentují možnosti doby a jejich pečlivým studiem je možné predikovat trend budoucích vylepšení.

Cíle bakalářské práce:

1. Úvod do problematiky válců čtyřdobých spalovacích motorů.
2. Historické řešení válců čtyřdobých spalovacích motorů a jejich aplikace.
3. Soudobé válce čtyřdobých spalovacích motorů, jejich aplikace a moderní trendy.
4. Závěr.

Seznam literatury:

Kolbenschmidt Pierburg AG. Reconditioning of Aluminium Engine Blocks. [online]. Dostupné z: <http://www.electrosil.com.au/pdf/KS.pdf>

KOŠTÁL, Jan a Bohuslav SUK. Pístové spalovací motory. Praha: Československá akademie věd, 1963.

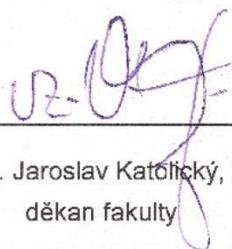
KOŽOUŠEK, Josef. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů. II. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 1. 12. 2016



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této práce je nastínění problematiky válců čtyřdobých spalovacích motorů z pohledu historického a současného řešení. Jsou zde uvedeny požadované vlastnosti válců, materiály určené pro výrobu válců a jejich konstrukční řešení s uvedením jednotlivých aplikací.

KLÍČOVÁ SLOVA

čtyřdobý spalovací motor, vkládané válce, vložky válců, vzduchem chlazené válce, hliníkové bloky motorů, litinové bloky motorů

ABSTRACT

The aim of this work is to outline the issue of cylinders of four-stroke combustion engines from the point of view of historical and current solution. There are mentioned the required properties of the cylinders, the materials for the manufacture and their design solutions with individual applications.

KEYWORDS

four stroke combustion engine, cylinder liners, cylinder sleeves, air-cooled cylinders, aluminium engine blocks, cast iron engine blocks

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BURJETA, M. *Válce čtyřdobých spalovacích motorů a jejich aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jozef Dlugoš.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jozefa Dluhoše a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Michal Burjeta

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jozefu Dluhošovi za cenné rady a podněty při psaní této práce. Taktéž bych chtěl poděkovat mé rodině a známým za podporu při mém dosavadním studiu.

OBSAH

Úvod	9
1 Čtyřdobý pístový spalovací motor	10
1.1 Základní části spalovacího motoru	10
1.2 Princip funkce čtyřdobého spalovacího motoru	12
2 Válce čtyřdobých spalovacích motorů	13
2.1 Nároky kladené na válce	13
2.2 Opotřebení válce	13
3 Historická řešení válců čtyřdobých spalovacích motorů	15
3.1 Výrobní materiál	15
3.2 Způsob chlazení	15
3.2.1 Vzduchem chlazené válce	15
3.2.2 Kapalinou chlazené válce	16
3.3 Konečné opracování povrchu válce honováním	19
4 Moderní řešení válců	21
4.1 Provedení bloku válců	21
4.2 Bloky válců z hliníkových slitin	23
4.2.1 Metoda ALUSIL®	24
4.2.2 Metoda LOKASIL®	24
4.2.3 Povlakování nitridy titanu	25
4.2.4 Povlakování metodou Galnical® a Nikasil®	25
4.2.5 Úprava povrchu paprskem plasmy	26
4.2.6 Laserová úprava povrchu TRIBOSIL®	27
4.2.7 Mokrý vložky válců	28
4.2.8 Suché vložky válce	28
4.3 Litinové bloky válců	31
4.3.1 Válce zhotovené přímo v bloku motoru	31
4.3.2 Mokrý vkládané válce	32
4.3.3 Suché vložky válců	32
4.3.4 Vzduchem chlazené válce	33
5 Budoucí možná řešení	34
Závěr	36

ÚVOD

Vývoj spalovacích motorů má za sebou dlouhou historii, kdy byla použita různá konstrukční řešení, a to jak ve smyslu použitých materiálů, počtu válců, tak způsobu chlazení. Válce čtyřdobých spalovacích motorů patří mezi nejdůležitější části celé konstrukce motoru a proto jsou na ně kladeny vysoké požadavky. Musejí disponovat vlastnostmi, které zajišťují hladký a bezproblémový pohyb pístu, přičemž musí být taktéž odolné vůči opotřebení v důsledku chemických procesů při spalování paliva a neustálého kontaktu s pístními kroužky a pístem. Válce motoru ve velké míře určují konečnou konstrukci bloku motoru, jelikož zásadním prvkem je způsob chlazení válců a hlavy válců, od čehož se pak odvíjí konstrukce ostatních dílů motoru. Z historického pohledu se používalo chlazení válců vzduchem a kapalinou, kdy oba způsoby přetrvali do dnešní doby. Typ chlazení hraje taktéž roli ve volbě materiálu pro zhotovení válce motoru. Mezi nejrozšířenější lze uvést litiny a slitiny hliníku.

1 ČTYŘDOBÝ PÍSTOVÝ SPALOVACÍ MOTOR

Pracovní stroj jako je spalovací motor přetváří jednu formu energie ve formu druhou, a to tepelnou energii paliva v energii mechanickou. S touto transformací souvisí účinnost motoru, která je ovlivněna několika faktory např. vznikem tepla, vzájemným třením jednotlivých dílů apod. Přeměna je zprostředkována prudkým hořením paliva (výbuchem), což vede k pohybu pístu a následnému roztočení klikového hřídele. [1]

Pístové spalovací čtyřdobé motory se rozdělují podle druhu spalovaného paliva na zážehové a vznětové. Jejich odlišnost je v pracovním cyklu, v celkové konstrukci a použitých materiálech. Tyto aspekty ovlivňují výslednou velikost a váhu motoru, která je v dnešní době sledována, a to především kvůli výsledné ceně motoru, spotřebě paliva a produkci výfukových plynů. [1][2]

1.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI SPALOVACÍHO MOTORU

Komplexní součást jako je spalovací motor, se skládá z mnoha dílů. Jelikož se tato práce zabývá válci spalovacích motorů, tak je zde uveden pouze výčet částí, které jsou podstatné pro pochopení funkce čtyřdobého spalovacího motoru. Ty se mohou rozdělit na tyto skupiny: [1][2]

- části pevné
- části pohyblivé
- systémy



Obr. 1 Díly motoru 6,2 V8 Chevrolet Corvette [25]

ČÁSTI PEVNÉ

Blok motoru je nosný prvek pro ostatní části. Výchozím materiálem jsou v dnešní době především slitiny hliníku a litiny. V dřívějších dobách se vyráběl ze dvou dílů, a to bloku válců a klikové skříně, z důvodu problematiky odlití jako celku. Dnes se tato metoda využívá pro vzduchem chlazené motory a velké motory (lodní apod.). Pro menší agregáty se zhotovuje z jednoho kusu. [1][2][5][7]

Hlava válců zajišťuje výměnu náplně válců a uzavírá spalovací prostor. Je k ní uchyceno sací a výfukové potrubí, ventily, vačkový hřídel (podle typu rozvodu) a mnoho dalších dílů. Jako výrobní materiál jsou užívány taktéž hliníkové slitiny a litiny (záleží na typu motoru). Podle způsobu chlazení jsou děleny na kapalinou nebo vzduchem chlazené. [2][5][7]

ČÁSTI POHYBLIVÉ

Klikový mechanismus je soustava pístů, ojníc, klikového hřídele, setrvačníku a hlavní řemenice. Píst je opatřen drážkami kde jsou usazeny pístní kroužky, které slouží k utěsnění spalovacího prostoru a ke stírání přebytečného maziva ze stěn válců (stírací kroužek). Píst je upevněn na ojnici pomocí pístního čepu, který je zajištěn pojistnými kroužky a ojnice je připevněna pomocí šroubů na klikovém hřídeli, který se díky svému tvaru a pohybu pístu s ojnici otáčí. Na konci klikového hřídele je upevněn setrvačník, jenž slouží k akumulaci mechanické energie pro nepracovní zdvihy pístu a start motoru. Řemenice slouží k propojení pohybu klikového hřídele a vačkového hřídele. [1][2][5][7]

Rozvodový mechanismus zastává funkci otevírání a zavírání ventilů pomocí vačkového hřídele, na němž je namontováno rozvodové kolo, které je pomocí řetězu nebo řemene (záleží na typu mechanismu) spojeno s řemenicí klikového hřídele. Podle typu rozvodu je umístění vačkového hřídele různé a taktéž může mít mechanismus další díly jako např. zdvihátka a vahadla. [1][2][5][7]

SYSTÉMY

Chladicí systém odvádí přebytečné teplo vzniklé především hořením paliva z částí motoru, aby nedošlo k jejich poškození vlivem vysoké teploty. Podle způsobu chlazení kapalinou nebo vzduchem se konstrukce motorů liší. [1][2][5][7]

Systém mazání zajišťuje po celém motoru rozvod mazacího oleje, který vytváří tenkou vrstvu mezi jednotlivými díly čímž snižuje tření. Jeho další funkcí je chlazení vnitřních dílů motoru. [1][2][5][7]

Ostatní systémy jsou spouštěcí, palivový, sací a výfukový. Spouštěcí zajišťuje rozběh motoru pomocí spouštěče, který roztáčí setrvačník. Palivový systém zajišťuje filtraci a dopravu paliva do spalovacího prostoru, sací systém pak filtraci a přívod vzduchu do válce. Výfukový systém se stará o odvod spalin skrz potrubí, katalyzátor a výfuk. [1][2][5][7]

1.2 PRINCIP FUNKCE ČTYŘDOBÉHO SPALOVACÍHO MOTORU

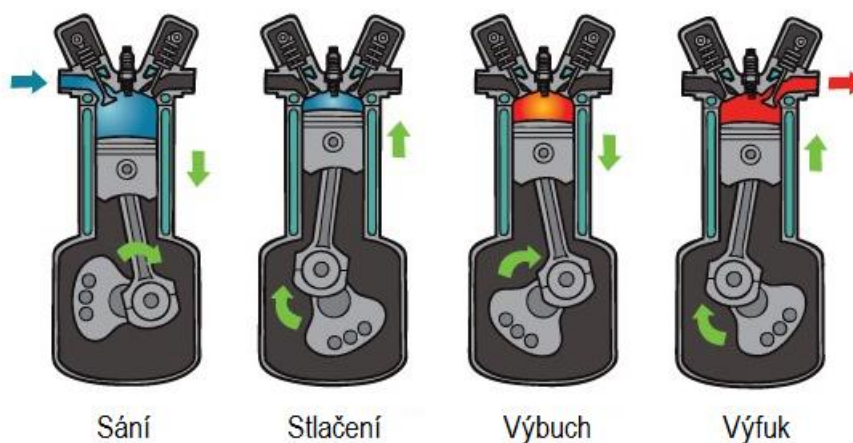
Tento typ motoru se vyznačuje 4 fázemi: sání, stlačení, výbuch a výfuk (v některých publikacích se můžeme setkat s odlišným názvoslovím nebo seřazením dob, sled však zůstává zachován). Klikový hřídel se musí otočit dvakrát, aby vykonal všechny cykly. Zde je nastíněn oběh jednoválcového čtyřdobého zážehového motoru s nepřímým vstřikováním paliva. U motorů zážehových i vznětových s přímým vstřikováním se oběh liší v přívodu paliva. [2][4]

Sání je prvním cyklem, při kterém vlivem pohybu pístu z horní úvratí do dolní dochází ke vzniku podtlaku a nasátí směsi čistého vzduchu a paliva. Na počátku dojde k otevření sacího ventilu, píst dosáhne spodní polohy a jakmile se začne pohybovat zpět, tak se pomocí ventilového rozvodu sací ventil uzavře. Vše probíhá s uzavřeným výfukovým ventilem. [2][4]

Stlačení nasáté směsi je způsobeno vratným pohybem pístu do horní polohy, čímž dochází při uzavřených ventilech ke kompresi směsi. Při stlačování směsi dojde i k zahřátí směsi na určitou teplotu, která je ale nižší než teplota samovznícení paliva. [2][4]

Výbuch je jediný pracovní cyklus motoru. Při stlačené směsi dojde pomocí zapalovací svíčky k vytvoření jiskry, která zažehne stlačenou směs ve válci. Vzniklý tlak vyvolaný expanzí plynů uvede píst do pohybu a ten se vrátí do dolní úvratí, před jejím dosažením se otevře výfukový ventil. [2][4]

Výfuk se vyznačuje poslední dobou celého cyklu. Díky energii, akumulované v rotačním pohybu klikového hřídele a setrvačnicku z pracovního cyklu, se píst začne pohybovat do vrchní mrtvé polohy, přičemž dochází skrz otevřený výfukový ventil k odvodu spalin do výfukového potrubí. Po této době se celý cyklus znovu opakuje. [2][4]



Obr. 2 Cyklus čtyřdobého motoru [26]

2 VÁLCE ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Válec patří mezi hlavní konstrukční prvek motoru. Spolu s hlavou válců a pístem vymezuje hranice spalovacího prostoru a vede píst při jeho pohybu. Z těchto poznatků je zřejmé, že musí být schopen odolávat různým mechanickým a tepelným zatížením jako je např. tlak vzniklý výbuchem směsi nebo kontakt s pístem. Podle typu a použití motoru mají válce různá konstrukční řešení. [2][6]

2.1 NÁROKY KLADENÉ NA VÁLCE

Mezi dominantní požadavky na válce se řadí kluzné vlastnosti jeho povrchu, tvrdost povrchu, dobrá obrobitelnost a odolnost vůči změně tlaku a teploty. [2][6]

Píst by se měl ve válci volně pohybovat s minimálním třením, a proto musí být povrch válce obroben na hladko, ale zároveň tak, aby na něm dobře ulpívalo mazivo, které právě snižuje tření mezi povrchy a tím zvyšuje i životnost jednotlivých povrchů. [2][6]

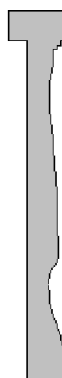
Dalším aspektem je tvrdost povrchu. Ta by měla být co nejvyšší v rámci dobré obrobitelnosti, jelikož nasáté nečistoty mohou způsobit vytvoření rýh ve válci, kdy s rostoucí tvrdostí povrchu je tento způsob opotřebení nižší. [2][6]

Při chodu motoru jsou válce vystaveny neustálé změně tlaku a teploty. Výbuchem směsi se tlak a teplota mohou dostat až na hodnoty 16 MPa a 2500°C, proto je důležité, aby válec byl zhotoven z materiálu, který je odolný vůči těmto změnám. [2][6]

Mezi další zatížení působící na stěny válce jsou síly od pohybu klikového mechanismu, které působí na válec skrz píst. Všechna zatížení se v průběhu chodu motoru mění a tak způsobují únavové porušování jak válce, tak i ostatních částí motoru. [2][6]

2.2 OPOTŘEBENÍ VÁLCE

U válců dochází při běžném provozu k těmto základním druhům opotřebení: adheze, abraze a koroze. Nejvíce namáhaná a opotřebovaná oblast se nachází v oblasti prvního pístního kroužku, kde působí největší tlaky a teploty od spalín a kde se olejová vrstva snadno poruší. [2][6]



Obr. 3 Opotřebení vnitřní stěny válce [27]

Adheze se vyznačuje porušením olejové vrstvy vysokým tlakem a teplotou působící na píst, pístní kroužky a válec, kdy mezi nimi dochází k vytvoření mikrosvarů, které se při pohybu pístu poruší a tím se odebere malá část materiálu z povrchu, proces je taktéž znám pod pojmem scuffing. Tento typ opotřebení se vyznačuje zadíráním pístu, což vede k notné ztrátě výkonu. [2][6]

Abraze je způsobena přítomností nečistot, které se dostávají do spalovacího prostoru mezi stykovou plochu válce s pístem a pístními kroužky, přičemž dochází k vytvoření miniaturních rýh na jednotlivých površích. Tato znečištění se do spalovacího prostoru mohou dostat skrz sání v důsledku špatné filtrace nasávané směsi a netěsnosti potrubí nebo ve znečištěném oleji dopravovaném na stěnu válce pod pístem. Ke snížení abrazivního opotřebení je tedy nutná důkladná filtrace a těsnost systému nasávaného vzduchu a oleje. [2][6]

Koroze je zapříčiněna reakcemi spalín se stěnami válců. Při chodu studeného motoru dochází ke kondenzaci vodních par na povrchu válců, které následně se spaliny reagují a vznikají kyseliny vedoucí k degradaci stěn válců. U kapalinou chlazených válců koroze nastává i na vnějším povrchu válce, kde se může objevit porušení kavitací, které má za následek narušení stěny válce, přesněji vytvoření drobných výmolů. Kavítace je zapříčiněna vznikem a implozí bublinek syté páry při poklesu tlaku proudící chladicí kapaliny kolem válců. Jako ochrana před kavitačním opotřebením se některé válce opatřují speciálními povrchy, které jsou vůči tomuto procesu odolné. [2][6][16]



Obr. 4 Kavitační a korozní porušení válce [28]

3 HISTORICKÁ ŘEŠENÍ VÁLCŮ ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Postupným vývojem se začala užívat různá konstrukční řešení spalovacích motorů pro odlišná použití. Zásadním rozdílem byla především konstrukce válců motoru, která byla uzpůsobena použitým materiálům a způsobu chlazení motoru. [2][6]

3.1 VÝROBNÍ MATERIÁL

Spalovací motor tvoří celek mnoha částí, které bývají zhotoveny z odlišných materiálů. Pro výrobu válců spalovacích motorů byly v minulosti používány tyto materiály: [2][6]

- litina
- ocel
- hliníkové slitiny

Přednosti litiny jsou její dobré třecí vlastnosti, vynikající tuhost bloku motoru, pohltivost vibrací a hluku. V minulosti se užívala především litina s lupínkovým grafitem (tzv. šedá). [2][6]

Ocelové válce byly použity u motorů s vyšším namáháním válců, a to jak pro vkládané válce tak i válce vzduchem chlazené. [2][6]

Slitiny hliníku se vyznačují výbornou tepelnou vodivostí, proto se využívaly např. k výrobě chladicích žeborů pro vzduchem chlazené válce. [2][6]

3.2 ZPŮSOB CHLAZENÍ

Teplo vzniklé při vzplanutí směsi paliva a vzduchu se musí během chodu motoru odvádět, aby nedošlo k porušení agregátu. U motorů se používaly a stále přetrvávají dva způsoby chlazení, a to vzduchem a kapalinou. Podle způsobu chlazení se pak liší ve své konstrukci, která je pro oba typy charakteristická. Jasným znakem je jiná koncepce válce a hlavy válců. [2][6][7]

3.2.1 VZDUCEM CHLAZENÉ VÁLCE

Motory s válci chlazenými vzduchem se vyznačují oddělenou konstrukcí válců a klikové skříně. Válce jsou opatřeny chladicími žebry na vnějším povrchu, díky kterým dochází k odvodu tepla z válce. [2][6][7]

Jako výchozí materiál pro výrobu se užívala šedá litina nebo u více namáhaných válců ocel. Litinové válce se odlévali přímo s žebry, a to odstředivým litím, nebo jako u ocelových se soustružila z plného materiálu, což vedlo k velké produkci odpadu. Proto se začala používat technologie vyválnování žeborů nebo zaválnování hliníkových žeborů do drážek v ocelovém válci. Dalším trendem se stala kombinace hliníkového odlitku žeborů a ocelové vložky, která byla zalita nebo zalisována do odlitku. [2][6][7]

Podle konstrukce motoru a použitého materiálu jsou hustota a rozměry žebér různé. U malých motorů se využívalo chlazení náporové, kdežto u velkých se ke chlazení používal ventilátor, a tak mohla být žebra kratší a blíže u sebe. Válec pak býval nejčastěji spolu s víkem ke klikové skříni přišroubován dlouhými šrouby. Aplikaci tohoto typu řešení lze nalézt u některých motocyklů se čtyřdobým spalovacím motorem, avšak častěji u motorů osobních a nákladních vozů, pro příklad lze uvést motor vozu VW Brouk (1938-2003) nebo Tatra 815 (1983). [2][6][7]



Obr. 5 Válec motoru VW Brouk [29]

3.2.2 KAPALINOU CHLAZENÉ VÁLCE

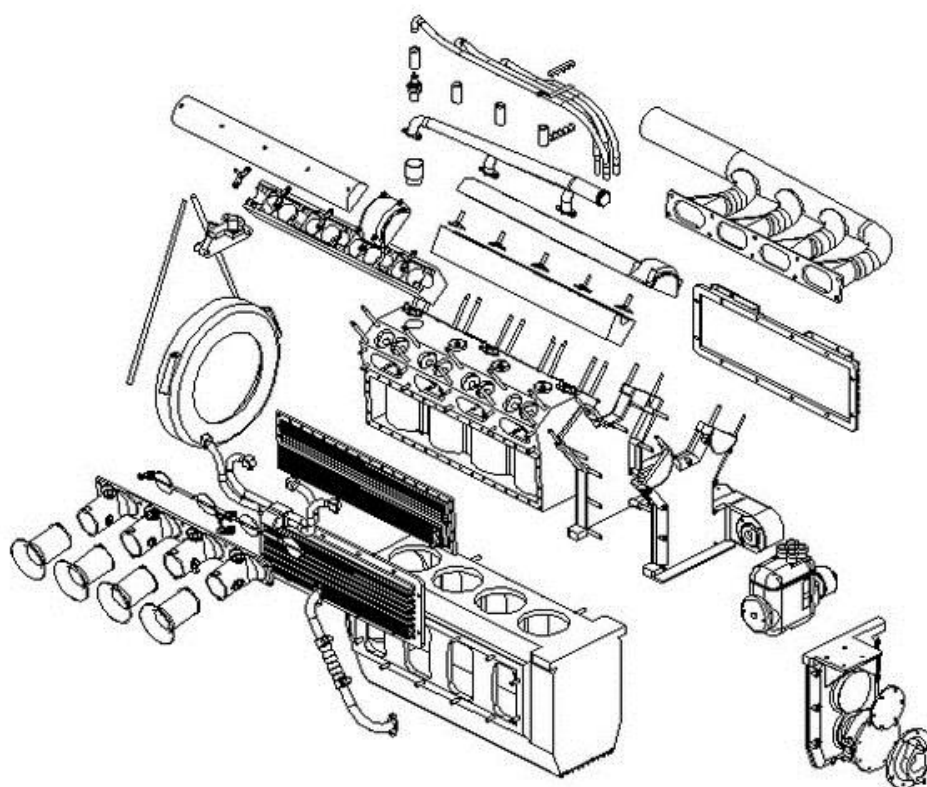
Kapalinou chlazené motory mají složitější konstrukci, kvůli chladicím kanálkům v bloku a hlavě motoru, s čímž přichází jejich obtížnější výroba. Motor musí být navíc opatřen více díly jako jsou např. chladič kapaliny a vodní čerpadlo. [2][6][7]

Podle konstrukce motoru se válce liší ve způsobu zhotovení, jsou to vložky válců a válce zhotovené přímo v bloku motoru. [2][6][7]

Zajímavostí jsou motory tvořené monoblokem válce a hlavy válce, kdy jsou obě komponenty slity v jednu. Mezi pozitiva tohoto provedení se řadí absence těsnění mezi válcem a hlavou válce, což vede k vynikající těsnosti spalovacího prostoru a dosažení vyšší komprese. Z pohledu montáže je sestavení o něco obtížnější, a to jak pro ventily, tak i pro písty. Tento způsob byl použit k výrobě závodního motoru Offenhauser (1930). Obdobné řešení bylo užito i u vozu Tatra 57 (1931-1948), jehož vzduchem chlazený motor s protiběžnými písty měl válce odlity spolu s hlavou válců z litiny a blok z hliníkové slitiny. Jelikož se jednalo o čtyřválcový motor, tak měl každý monoblok dva válce. [10][11]



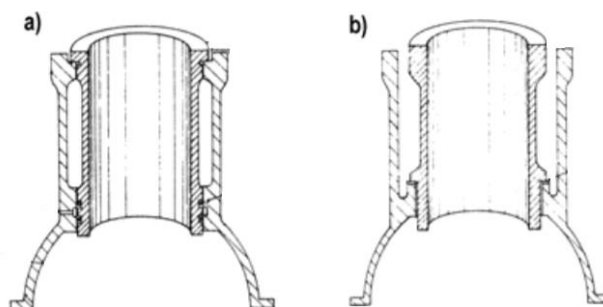
Obr. 6 Monoblok hlavy a válců motoru Tatra 57 [30]



Obr. 7 Sportovní motor Offenhauser [31]

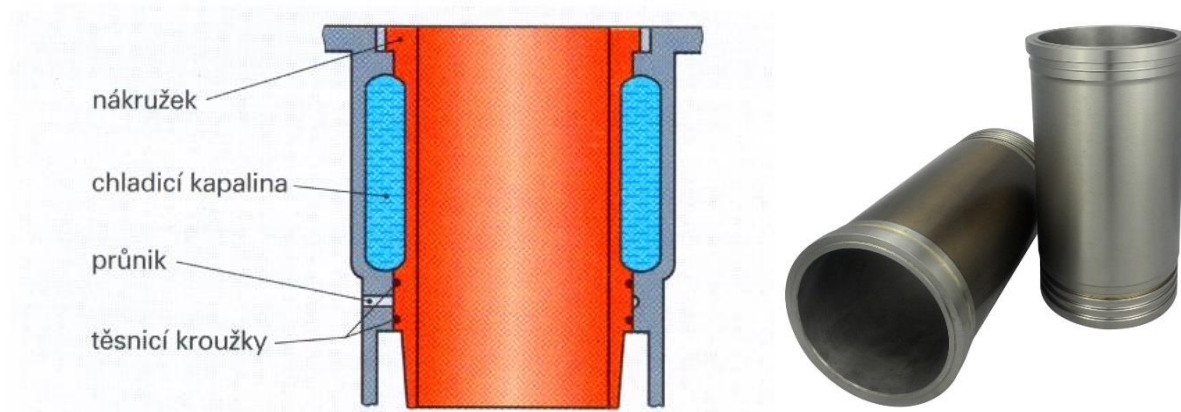
Vkládané válce se používají jak u motorů zážehových tak i vznětových. Podle způsobu uložení a chlazení se dále dělí na mokré a suché vložky válců, které se vyrábějí odstředivým litím, a to především z šedé perlitické litiny, u namáhaných motorů z legované litiny nebo oceli. Platí, že materiál válce má lepší třecí vlastnosti a je odolnější vůči opotřebení než materiál bloku motoru. Do devadesátých let minulého století byly tyto válce používány téměř v každém čtyřdobém spalovacím motoru. [2][6][7][8]

Mokré vložky válců se vyznačují přímým kontaktem s chladicí kapalinou na vnějším povrchu, a proto musí být uložení válce a bloku motoru těsné. Válec může být utěsněn těsnícími kroužky ve spodní části nebo mohou být těsnící plochy obrobena na čisto bez použití těsnění. Užívají se dvě konstrukční řešení, a to vložky s horní a spodní dosedací plochou viz obr. 8. [2][6][7][8]



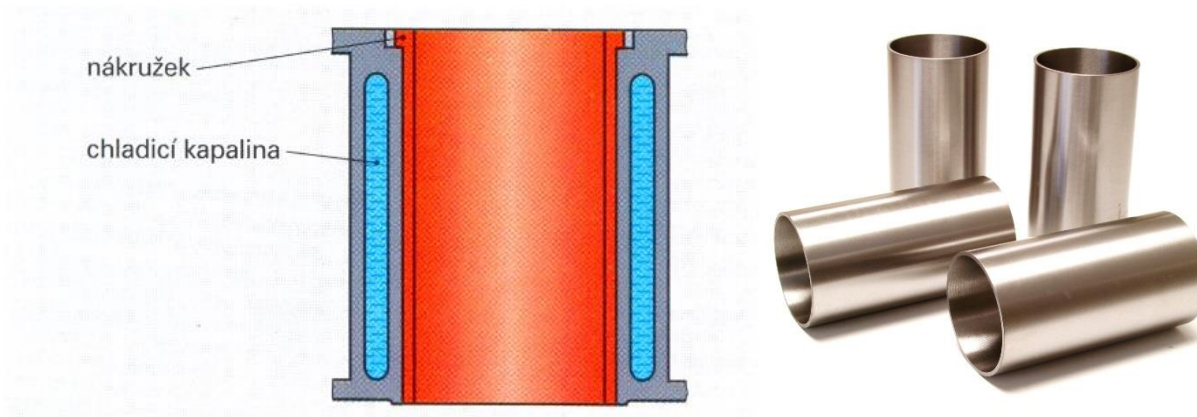
Obr. 8 a) vložka s horní dosedací plochou, b) válec s dolní dosedací plochou [2]

Mezi přednosti vložek s horní dosedací plochou patří lepší utěsnění spalovacího prostoru a snazší dodržení tolerance přesahu vložky nad dosedací plochou bloku motoru. Spodní část válce je pak volně uložena a utěsněna, takže má volný prostor ke změně velikosti v osové směru. Toto konstrukční řešení bylo v minulosti nejběžnější a nejefektivnější, jelikož při poruše motoru v důsledku poškození válce se jednoduše vložka demontovala a nahradila novým dílem. Pro příklad použití takovýchto vložek lze uvést motor traktoru Zetor 25 (1946-1962), kde jsou vložky a prostor chladicí kapaliny utěsněny pryžovými kroužky ve spodní oblasti válce. Při vysokém opotřebení válců je pak výměna vložek celkem snadná a není nutná demontáž celého agregátu. [2][6][7]



Obr. 9 Mokrý vložky válců [7] [32]

Suché vložky se vyráběly převážně z litinových odlitků nebo ze svařeného ocelového plechu v tenkostěnném provedení s tloušťkou stěny 2–4 mm, kdy byly následně do vývrtu bloku zalisována nebo zalita. Konečné opracování se provádí až po ustavení vložky v bloku motoru. Vyznačují se nepřímým kontaktem s chladicí kapalinou, což vede k pomalejšímu odvodu tepla než při kontaktu přímém. Tento typ řešení byl užit u bloků motorů z litiny i z hliníkových slitin. Oproti mokrým vložkám válců se tento typ ukazuje jako komplikovanější v následné opravě válců motoru, kdy musí být motor zcela demontován a dopraven na specializované pracoviště. V historických vozech se tento typ používal u motorů vozidel Škoda Popular (1933-1946). Blok motoru byl odlit z litiny, kde byly zalisovány suché vložky válců. S postupnou modernizací agregátu však konstruktéři v roce 1938 přešli u motoru 1100 OHV k řešení bloku motoru s mokрыmi vkládanými válci. [2][6][7][8][19]



Obr. 10 Suché vložky válců [7] [33]

Válce zhotovené v bloku motoru se v minulosti používali u motorů jak zážehových tak vznětových, jejich užití však bylo v menší míře oproti vkládaným válcům. Využití bylo uplatněno především u motorů osobních automobilů. [2][6]

Blok motoru byl odlit z šedé litiny, ve kterém byla předlita díra pro válec, která se po odlití obrobila. Jednotlivé válce byly většinou od sebe mírně vzdáleny tak, aby mezi nimi mohla proudit chladicí kapalina. Výhodou tohoto řešení byla vysoká tuhost bloku motoru avšak z výrobního pohledu se jednalo o komplikovanější provedení oproti vkládaným válcům. Užití takto zhotovených válců lze nalézt u motoru vozu Ford Mustang z roku 1969, jehož blok motoru Windsor 351 V8 byl odlit z šedé litiny. [2][6]

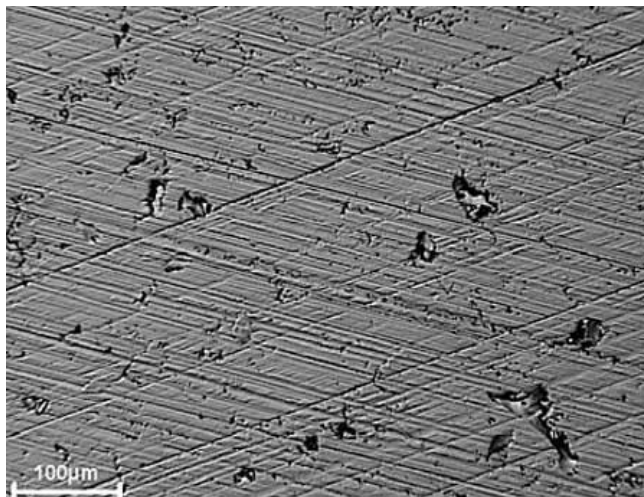


Obr. 11 Motor Ford Windsor V8 351 [34]

3.3 KONEČNÉ OPRACOVÁNÍ POVRCHU VÁLCE HONOVÁNÍM

Výsledný způsob opracování válce hraje významnou roli. Aby měl motor nízkou spotřebu paliva a oleje, tak je zapotřebí dosažení přesné geometrie válce a hladkého povrchu, nicméně jen hladký povrch nestačí. Je potřeba, aby na tomto povrchu ulpíval olej, který napomáhá snadnému chodu pístu s pístními kroužky. Za přítomnosti oleje se taktéž zvyšuje životnost povrchů, a to jak válce, tak i pístu a pístních kroužků. [2][9]

U všech již zmíněných typů válců je finální povrch proveden technologií honování. Jedná se o velmi jemné broušení honovacími kameny, které jsou upevněny na honovací hlavě konající složený pohyb. Hlava rotuje kolem své osy přičemž koná i posuvný pohyb ve své ose. V procesu honování se používá honovací olej, který má na starosti chlazení a odvod odebraných částic materiálu válce a opotřebovaného brusiva. Výsledný povrch má charakteristickou křížkovou strukturu. Drobné rýhy vzniklé z pohybu brousících kamenů svírají úhel 40-70°, který závisí na rychlosti posuvu a rotace honovací hlavy. Honováním se taktéž upravuje geometrie válce, jako je např. kruhovitost nebo nesouosost. Tento způsob dokončovací operace je v současnosti rovněž aplikován. [2][9]



Obr.12 Struktura povrchu po honování [35]

4 MODERNÍ ŘEŠENÍ VÁLCŮ

V rámci zážehových a vznětových motorů je dnes řada typů čtyřdobých spalovacích motorů pro různá použití. Podle velikosti motoru a druhu spalovaného paliva se liší použité materiály s čímž jde ruku v ruce i konstrukce motoru. Mezi nejpoužívanější materiály se dnes řadí hliníkové slitiny a litina. [2][7][9]

4.1 PROVEDENÍ BLOKU VÁLCŮ

S příchodem hliníkových slitin do výroby bloku motorů se začala užívat odlišná řešení konstrukce chladicího prostoru válců vůči dosedací ploše hlavy válců. Objevují se tři typy provedení dosedací plochy: open deck, closed deck a semi-closed deck. [2][7][12]

Open deck se vyznačuje otevřeným chladicím prostorem mezi jednotlivými válci bloku motoru. Uplatňují se dvě možná řešení, buď jsou válce slity dohromady nebo jsou odlity samostatně s mezerou mezi sousedícími válci. [2][7][9]



Obr. 13 Blok s otevřeným chladicím prostorem se slitými válci [36]

Výhodou otevřeného provedení je snazší výroba bloku motoru a dosažení přímého chlazení v oblasti doběhu prvního pístního kroužku. Avšak absence výztuže mezi obvodovou stěnou bloku a válci má za následek nižší tuhost bloku a vede ke většímu namáhání těsnění hlavy válců. Tímto způsobem se zhotovují bloky motorů z hliníkových slitin pro zážehové motory. Tento typ je dnes velmi užívaný a lze jej nalézt např. u motoru 1.2 HTP koncernu VW. [9][12]

Closed deck je charakterizován uzavřenou dosedací plochou bloku motoru pro hlavu válců, která obsahuje vývrty válců, upevňovací členy, chladicí a mazací kanálky. Chladicí prostor je tedy uzavřený, což vede k vyšší tuhosti bloku. Použití tohoto typu se vyskytuje především u motorů vznětových, ale taktéž u zážehových, a to jak z litiny, tak i z hliníkových slitin. [2][7][9]



Obr. 14 Uzavřený chladicí prostor [37]

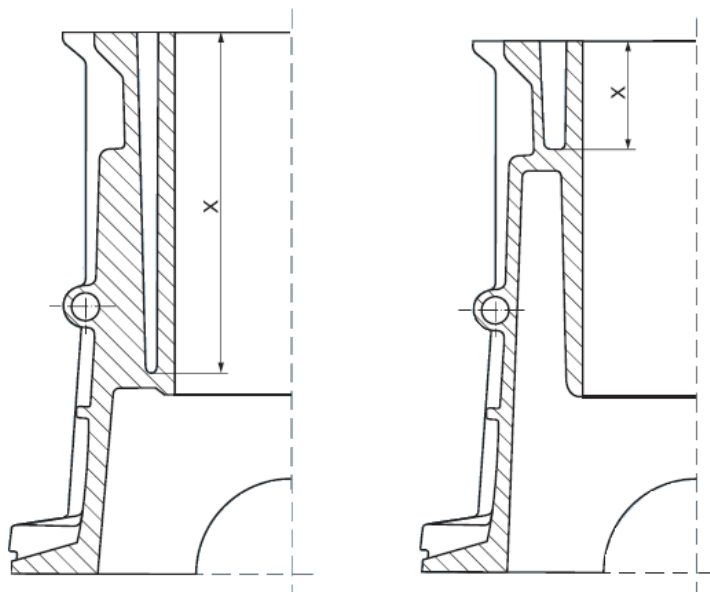
Semi-closed deck je kombinací výše zmíněných řešení. Chladicí prostor je otevřený, přičemž se mezi válci a stěnou bloku nachází výztuže. Tímto se zvýší tuhost bloku a sníží namáhání těsnění hlavy válců. Užití lze nalézt u motorů z hliníkových slitin s vyšším výkonem, jako je např. motor EJ257 vozu Subaru Impreza WRX STI nebo motor 4B11T vozu Mitsubishi Lancer Evolution X. [12][13]



Obr. 15 Kombinované řešení chladicího prostoru [38]

4.2 BLOKY VÁLCŮ Z HLINÍKOVÝCH SLITIN

Užití hliníkových slitin pro výrobu bloků motorů je opodstatněný. Asi hlavním důvodem je hustota těchto slitin, která může být až třetinová oproti hustotě litiny, čímž je výsledná hmotnost bloku daleko nižší. Další výhodou je oproti litinovým blokům lepší tepelná vodivost, tudíž se motor rychleji ohřeje na pracovní teplotu. Jako nevýhoda může být brána cena těchto slitin, která je až 2,5krát vyšší než u litiny. V porovnání s bloky motorů z litiny zasahuje chladicí plášť válců do 30-65 % délky válce, což snižuje množství použité chladicí kapaliny a zajišťuje rychlejší ohřev motoru. [2][5]



Obr. 16 Porovnání výšky chladicího pláště litiny (vlevo) a slitiny hliníku (vpravo) [9]

V dnešní době se užívají tři typy bloků motorů, které se liší použitými materiály pro zhotovení, jsou to bloky: [2][5][9]

- monolitické
- quasi-monolitické
- heterogenní

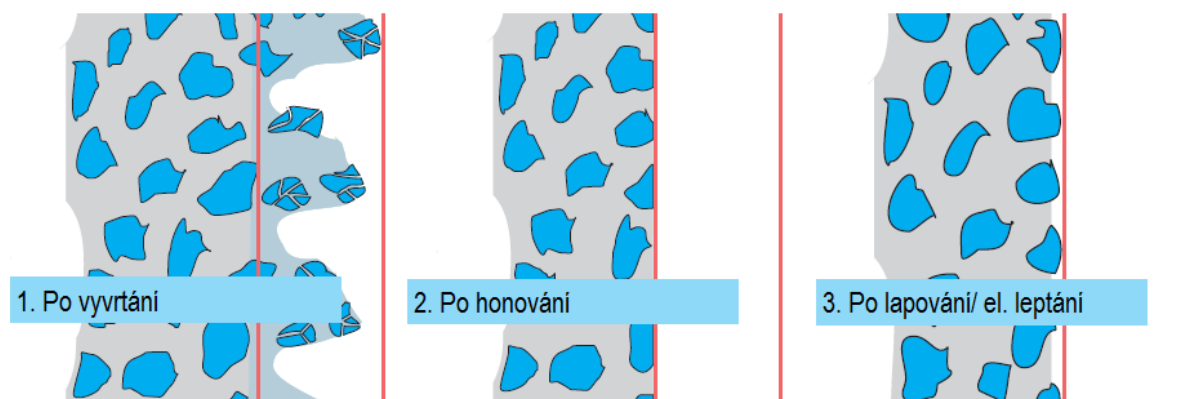
Monolitické bloky jsou vyrobeny z jednoho druhu slitiny, a to z nadeutektické slitiny Al-Si. Válcové jsou tedy zhotoveny přímo v bloku motoru při použití metody ALUSIL®. [2][5][9]

Quasi-monolitické bloky a jejich výroba je v porovnání s monolitickými bloky odlišná. Naskytují se dva možné způsoby provedení. První možností je metoda LOKASIL®, kdy se použije pórovitá vložka válce v kokile při odlévání bloku. Jako druhá metoda zlepšení vlastností povrchu válce se využívá nanášení speciálních povrchů (obě metody budou dále vysvětleny). [2][5][9]

Heterogenní bloky jsou takové, kdy je blok vyroben z levné hliníkové slitiny a válce pak z litiny, ocele nebo ze speciální slitiny hliníku. Ty jsou pak buď vloženy nebo zalité v bloku. [2][5][9]

4.2.1 METODA ALUSIL®

Materiál pro výrobu je nadeutektická slitina Al-Si. Mezi nejpoužívanější se řadí slitina AlSi17Cu4Mg, která obsahuje 17 % křemíku. Ve ztuhlé slitině se pak nachází velké množství krystalů křemíku. Jelikož mají vysokou tvrdost, tak se pro obrobení válce používají nástroje např. z polykrystalického diamantu. Po zhotovení vývrtu díry válce následuje honování, které má dvě fáze: předběžné a konečné. Poslední dokončovací operací je lapování nebo elektrochemické leptání, které odebere měkký hliník a obnaží tak krystaly křemíku. Výsledný povrch je tedy tvořen převážně tvrdými krystaly Si, a tak má příznivé vlastnosti vůči opotřebení. [5][9]



Obr. 17 Zhotovení povrchu válce [9]

Tato technologie má výborné výsledky. Jelikož jsou válce odlity přímo v bloku motoru a nejsou použity vložky válců, tak je stěna mezi sousedícími válci tenká, což snižuje celkovou délku agregátu. Mírnou nevýhodou jsou relativně vysoké náklady na výrobu, protože je celý blok vyroben ze slitiny s vysokou cenou. Tuto technologii využívá např. automobilka Audi pro výrobu motorů 4,2 V8 FSI dodávaných do vozu RS4. [5][9]

4.2.2 METODA LOKASIL®

Blok motoru se vyrábí odléváním, přesněji metodou squeeze casting, což je odlévání se zvýšením tlaku ke konci procesu. Před samotným odlitím se do lící formy zavede tzv. preforma do místa válců. Ta je ohřáta na požadovanou teplotu a zalita lící slitinou (nejčastěji AlSi9Cu3). Jakmile je lící forma plně zalita, dojde ke zvýšení tlaku (o 900-1000bar). Jelikož je preforma pórovitá, tak se nasytí natavenou slitinou. [5][9]

Mohou být užity dva druhy pórovitých vložek. První je LOKASIL I®, která je tvořena keramickými vlákny a krystaly křemíku, druhou formu LOKASIL II® tvoří čistě jen krystalky Si. Konečný povrch válce je zhotoven stejným procesem jako u výše zmíněné metody ALUSIL®. Výrobní náklady jsou u této metody nižší než u metody ALUSIL® a její použití lze nalézt např. u motoru M96 vozu Porsche Caymann. [5][9][15]



Obr. 18 Preforma (vlevo) a řez válci (vpravo) [39]

4.2.3 POVLAKOVÁNÍ NITRIDY TITANU

Tato úprava povrchu využívá metody fyzikálního napařování (PVD) k vytvoření tenké vrstvy nitridu titanu TiN nebo titan aluminium nitridu TiAlN. Vytvořená vrstva má příznivé tribologické vlastnosti, avšak náklady na výrobu jsou relativně vysoké. Do sériové výroby se tento proces začlenil teprve nedávno. Nutno dodat, že se ochranná vrstva vytváří na již finálně zhotovený povrch válce tzn. po konečném honování. [5][9]

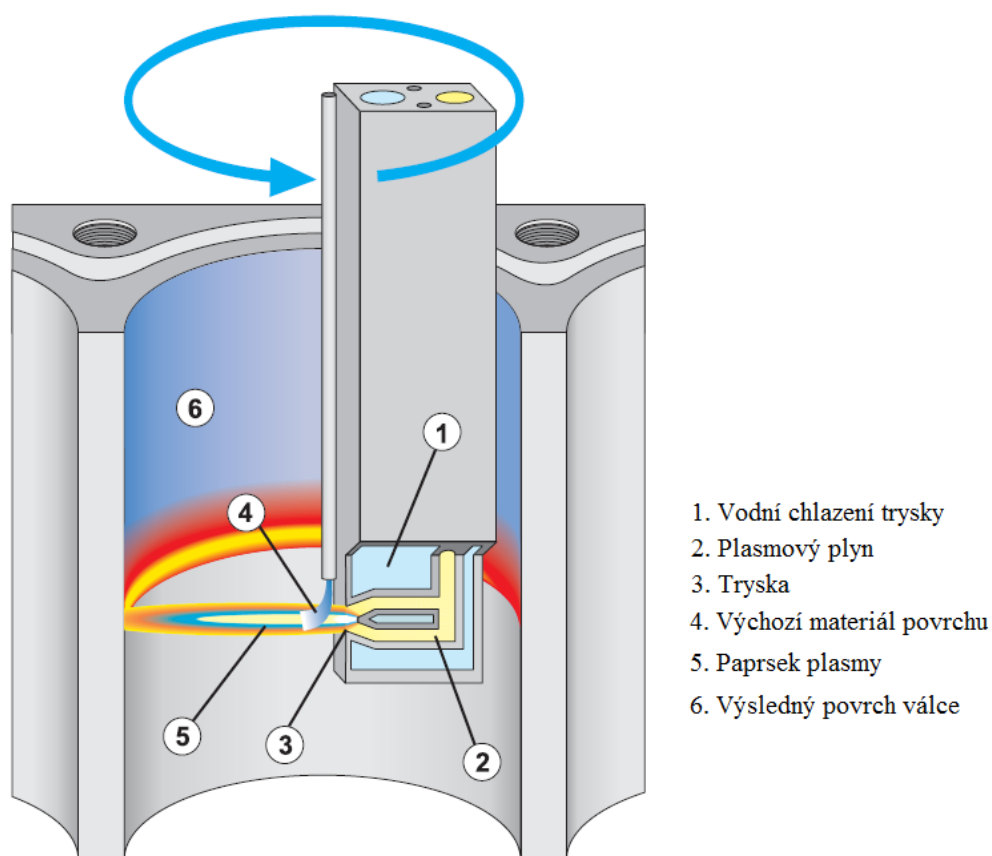
4.2.4 POVLAKOVÁNÍ METODOU GALNICAL® A NIKASIL®

Aplikace těchto metod spočívá v galvanickém pokovení povrchu sloučeninou Ni-SiC, kdy tloušťka ochranného filmu činí 10-50 μm . Jako výchozí materiál pro výrobu bloku motoru a válců se často využívá slitina zvaná Silumin®, jelikož je dobře dosažitelná. Proces nanesení povrchu se provádí až po opracování válce. Po aplikaci povrchu se válec musí honovat, jelikož je povrch velmi hladký a tak by nebyl schopen na sobě udržet mazivo. [5][9]

Užití tohoto povlaku se objevuje v sériové výrobě, především u motorů motocyklů nebo výkonných motorů automobilů. Příkladem může být motor motocyklu Suzuki Hayabusa nebo motor AJ-V8 automobilky Jaguar. V minulosti se objevovali problémy spojené s vyšším obsahem síry v nekvalitních palivech a s provozem motoru na krátké vzdálenosti, kdy se nedosáhlo správné pracovní teploty motoru. Následkem toho docházelo ke korozi povrchu válce, což vedlo k nákladným opravám motoru. Proto se od tohoto řešení u osobních automobilů velké série upustilo. Tento problém se taktéž objevil i u výše zmiňovaného motoru AJ-V8, kdy automobilka po zjištění závad změnila konstrukci motoru a nahradila úpravu povrchu NIKASIL® za litinové vložky. [5][9]

4.2.5 ÚPRAVA POVRCHU PAPRSKEM PLASMY

Proces nanesení ochranného povrchu se provádí za pomoci paprsku plasmy, do kterého se vnáší materiál ve formě prášku vytvářející výsledný povrch válce. Plasma, díky teplotě až 20 000°C, roztaví přidávanou směs, která je následně dopravena na stěnu válce. Kvůli vysoké teplotě plasmy je nutné chlazení plasmové trysky. Tato metoda umožňuje nanesení téměř jakéhokoliv termálně nanášeného materiálu. Celý proces se odehrává za atmosférických podmínek. [5][9]

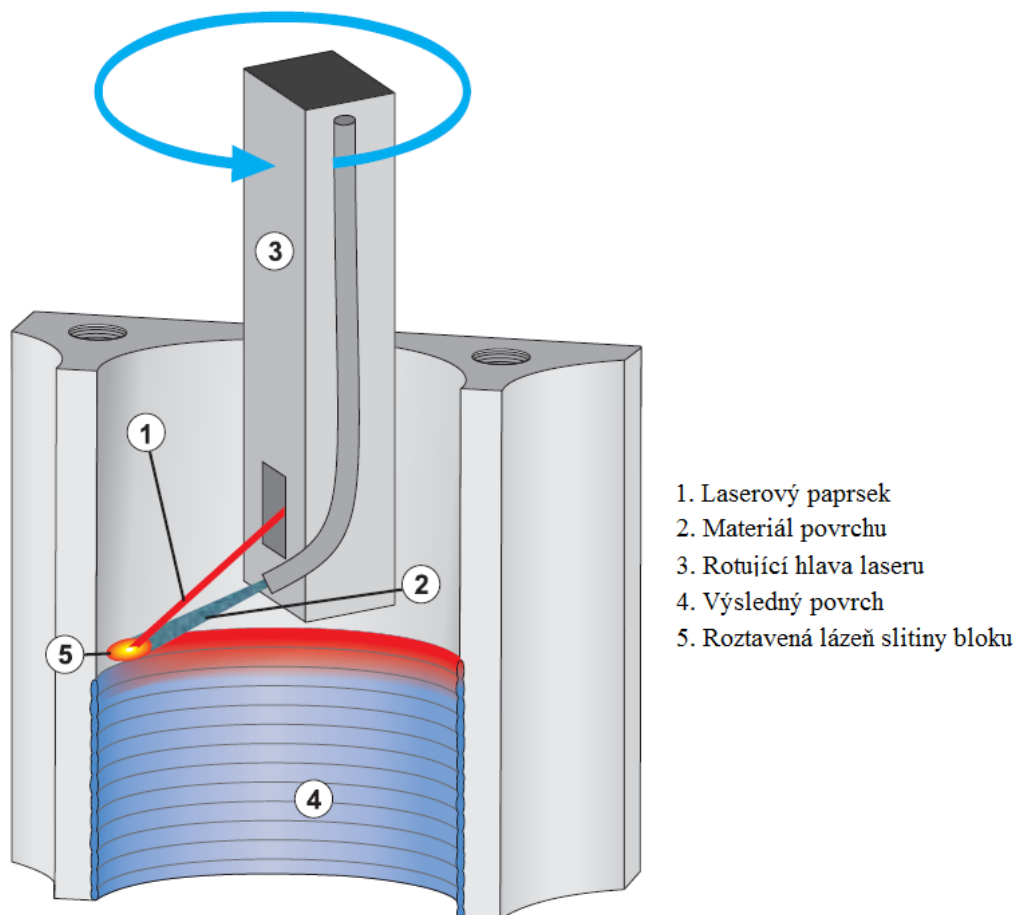


Obr. 19 Nanesení povrchové vrstvy paprskem plasmy [9]

Pro příklad nejpoužívanějších materiálů lze uvést sloučeniny železa. V ochranném povrchu dochází k precipitaci oxidů železa, jako je FeO nebo Fe_3O_4 , které vytvářejí výsledný povrch. Nanesení povlaku umožňuje nahrazení vložek válců např. z litiny, kdy se dosahuje menší vzdálenosti mezi jednotlivými válci a tak i menší délky motoru. Pro dokončení povrchu je nutné honování jako u běžných litinových vložek. Výsledná tloušťka ochranného povrchu po konečném opracování dosahuje 0,11-0,13 mm. Díky dobrým kluzným vlastnostem a odolnosti povrchu proti opotřebení je dosaženo nízké spotřeby jak paliva tak i oleje, což se pozitivně projevuje na produkci výfukových plynů motoru. Aplikaci této technologie můžeme nalézt u motoru vozu Ford Mustang Shelby GT500 5,4 od roku výroby 2011 do 2012. Blok motoru je vyroben z hliníkové slitiny, kdy je na válec nanesen ochranný povrch. V porovnání s předchozím modelem z roku 2010 je novější model o 46 kg lehčí jelikož starší měl blok vyroben z litiny. [5][9][20]

4.2.6 LASEROVÁ ÚPRAVA POVRCHU TRIBOSIL®

Podstata této metody spočívá v použití dostupné hliníkové slitiny k výrobě bloku motoru, která vykazuje dobré vlastnosti pro odlévání, příkladem může být slitina $AlSi9Cu3$. Dosažení povrchu válce s dobrými kluznými vlastnostmi a odolností vůči opotřebení je dosaženo lokálním zvýšením obsahu krystalů křemíku. [5][9]



Obr. 20 Úprava povrchu pomocí laserového paprsku [9]

Laserový paprsek upevněný na hlavě přípravku natavuje stěnu válce, kdy se do vzniklé roztavené lázně dopravuje křemíkový prášek. Ve ztuhlém stavu je povrch tvořen primárními krystalky Si, což zajišťuje vysokou tvrdost a odolnost povrchu. Po ukončení procesu vytvrzení povrchu je nutná úprava válce honováním a odkrytím krystalů Si např. lapováním. Jako nevýhoda tohoto procesu je poměrně dlouhá doba 3-6 minut, což je v porovnání s ostatními technologiemi výroby časově náročnější. [5][9]

4.2.7 MOKRÉ VLOŽKY VÁLCŮ

Tento způsob řešení se v dnešní době pro sériovou výrobu používá jen minimálně. Výchozím materiálem bloku motoru je dostupná hliníková slitina a vložky válců jsou nejčastěji z litiny. Charakter bloku je open deck s otevřeným chladicím prostorem. Důvodem ústupu tohoto řešení je odlišná tepelná roztažnost litinových válců a hliníkového bloku motoru. Je proto nutná vysoká přesnost výroby a dodržení tolerancí pro uložení válce. I přesto však dochází k problémům s těsněním hlavy válců kvůli již zmíněné rozdílné tepelné roztažnosti. Užití lze nalézt u sportovních motorů, kde bývá vložka vyrobena z litiny tvárné. Příkladem sériové produkce je motor vozu Nissan 350Z viz obrázek níže. [5][9]



Obr. 21 Blok motoru VQ35DE vozu Nissan 350Z [40]

Hliníkové bloky motorů s válci opatřenými ochrannými povrchy nebo se suchými vložkami válců lze překonfigurovat pro použití mokrých vložek válců. Toto řešení přináší lepší tepelnou vodivost mezi vložkou a chladicí kapalinou, jelikož jsou v přímém kontaktu. Další výhodou je snadná demontáž válce při případné poruše. Tento postup aplikuje např. firma Darton, která zároveň vyrábí i vložky válců. Využití je prospěšné pro závodní motory, kde je opotřebení válců značné a je potřebná jejich častější oprava a výměna. [17][21]

4.2.8 SUCHÉ VLOŽKY VÁLCE

Levné hliníkové slitiny používané pro výrobu bloků motoru nemají dostatečné tribologické vlastnosti povrchu, které jsou nepostradatelné pro válce motoru. Proto se u spalovacích motorů kombinují použité materiály pro blok motoru a válce. Mezi nejrozšířenější materiály heterogenních bloků motorů použité v kombinaci s hliníkovými bloky je litina, ocel nebo speciální hliníkové slitiny s požadovanými vlastnostmi povrchu válce. [5][9]

Naskytují se dvě možná řešení usazení vložky válce do bloku motoru. Při prvním způsobu dochází k zalití vložky při odlévání bloku motoru. Druhou možností je vložení vložky do předem připraveného otvoru v bloku motoru. [5][9]

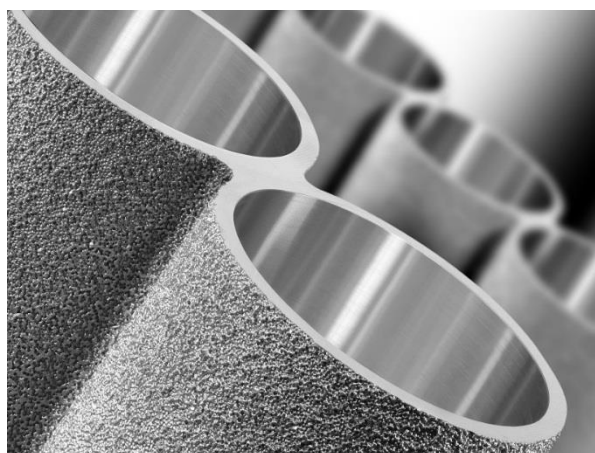
U suchých vložek válců z litiny zalitých do bloku motoru nastává úskalí, které se projevuje špatným chemickým spojením litinové vložky se slitinou bloku motoru. Samozřejmostí je i rozdílná tepelná roztažnost vložek a bloku motoru. Využívají se tři typy řešení těchto problémů. První možnost spočívá v procesu odlití bloku motoru tlakovým litím, což vede

k pevnému uchycení vložky v odlitku bloku motoru. Další hojně využívaná metoda je charakterizována úpravou vnějšího povrchu vložky. Povrch není hladký, nýbrž je buďto velmi hrubý nebo má po obvodu vyrobeny drážky viz obr. 22. Po výsledném zalití vložky v bloku je díky nerovnostem na vnějším povrchu dosaženo velmi dobrých mechanických vazeb mezi blokem motoru a vložkou. Poslední z možností je metoda GOEDEL[®], což je termální nanesení vrstvy hliníku na vložku válce, kdy při odlévání bloku motoru dojde ke spojení hliníkového povrchu vložky a slitiny bloku motoru. Tato suchá pouzdra válců lze nalézt u malých vznětových motorů a u výkonných zážehových motorů jako je řada LS od společnosti General Motors. [5][9]



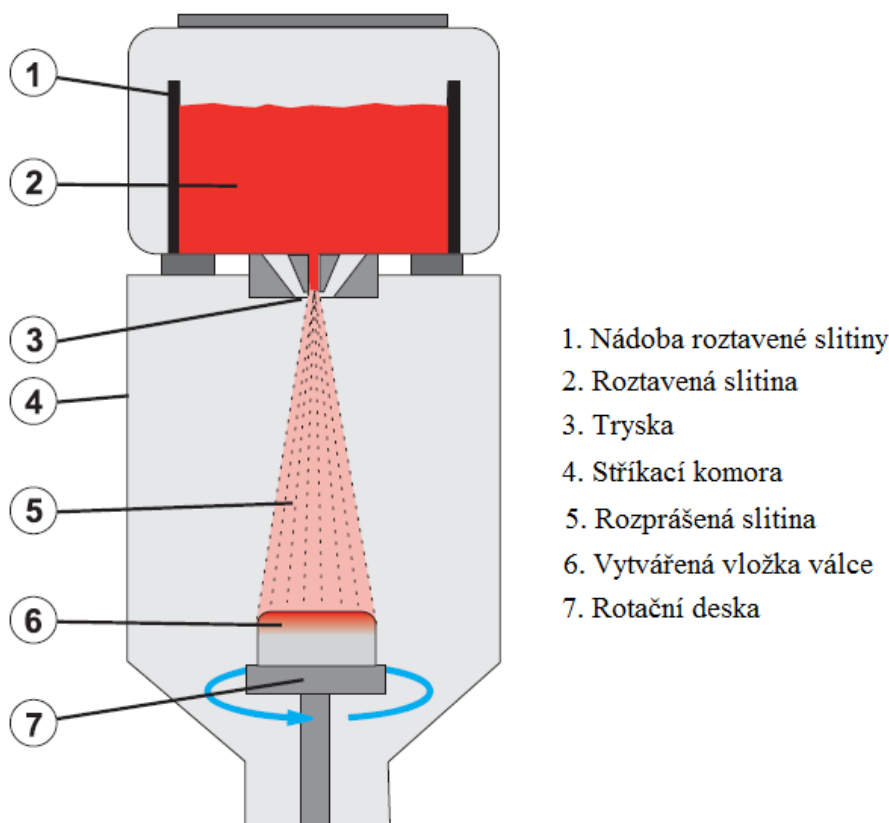
Obr. 22 Litinové vložky s upraveným vnějším povrchem pro dosažení mechanických vazeb [9]

Suché vložky válců ze speciálních slitin hliníku zastupují použití litinových vložek a monolitických bloků z poměrně nákladné slitiny s vysokým obsahem křemíku. Oproti litinovým vložkám dochází k úspoře hmotnosti až o 400 gramů na jeden válec. Technologie výroby se provádí podle metody ALUSIL[®], SILITEC[®] nebo ALBOND[®]. [5][9][14]



Obr. 23 Válce zhotoveny metodou ALBOND[®] [14]

Vložky válců metodou ALUSIL[®] se vyrábějí odléváním z nadeutektické slitiny hliníku AlSi17Cu4Mg. Druhým typem jsou válce zhotovené technologií SILITEC[®], které se vyrábějí rozprašováním nadeutektické slitiny hliníku plynem (dusíkem) na rotační podstavu vrstvu po vrstvě viz obr. 24. Výsledkem jsou velmi jemné krystalky Si v celém objemu vložky. Další možností jsou válce vyrobené metodou ALBOND[®], jež se zhotovují odléváním stejně jako vložky metodou ALUSIL[®] z nadeutektické slitiny hliníku. Válce jsou však odlity dohromady, což umožňuje snížení délky celého bloku motoru. Vnější povrch válců má vysokou drsnost, což vede k dokonalejšímu spojení se slitinou bloku motoru. Proces odlévání vhodný pro zmíněné technologie je odlévání za zvýšeného tlaku, jelikož je poměrně rychlý, ale hlavně při něm nedochází k roztavení vsazených vložek. U jiných metod jako je např. lití za sníženého tlaku může dojít k onomu roztavení, což vede k deformaci válce. Dokončovací operace jsou obdobné jako u monolitických bloků, tedy vícestupňové honování a obnažení krystalů Si leptáním nebo lapováním. [5][9][14]



Obr. 24 Metoda výroby vložek technologií SILITEC[®] [9]

U vložek vkládaných, a to jak litinových tak ze slitin hliníku, se při instalaci vložka podchlídí za pomoci suchého ledu až na -80°C nebo tekutého dusíku na teplotu až -200°C . Blok se naopak ohřeje na teplotu kolem 120°C . Díky teplotnímu rozdílu dojde k vytvoření požadované vůle mezi oběma částmi. Vložka se musí velmi rychle usadit na své místo, jelikož rychle dochází k ustálení teplot obou materiálů a k vymezení vůle. Jestliže dojde k nesprávné instalaci vložky, tak se vložka musí odvrtnout, jelikož se jedná o nerozebíratelné uložení po vyrovnání teplot. Pouzdra válců u bloků z hliníkových slitin nemohou být usazena lisováním, jelikož by došlo k deformaci bloku motoru. Tato platnost je jak pro litinové, tak i pro vložky z hliníkových slitin. [5][9]

4.3 LITINOVÉ BLOKY VÁLCŮ

Využití litiny k výrobě bloků motorů se uplatňuje i dnes. Příkladem jsou motory především vznětové některých osobních vozidel, nákladních vozidel, těžké techniky nebo lodní motory. U těchto aplikací se vyžaduje vyšší tuhost bloku motoru, kterou prozatím většina bloků ze slitin hliníku nedosahuje. [5][9]

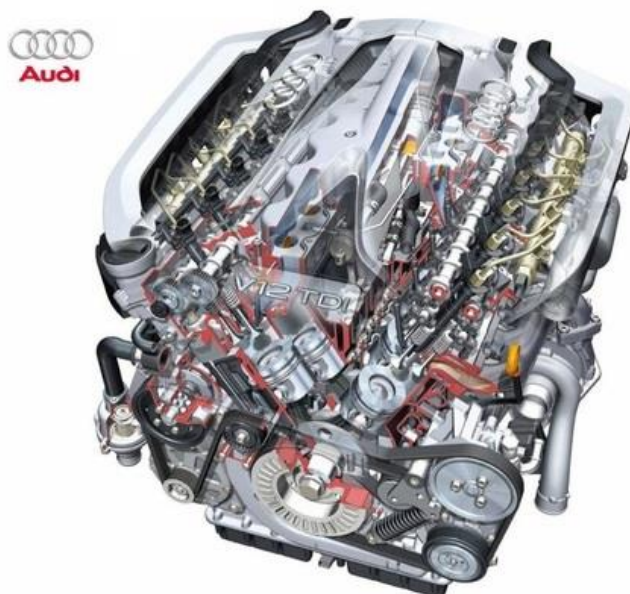
Litínové bloky se dělí podle typu použitých válců, které mohou být zhotoveny přímo v bloku motoru nebo jako vkládané, a to suché či mokré. [5][9]

4.3.1 VÁLCE ZHOTOVENÉ PŘÍMO V BLOKU MOTORU

Bloky motorů lze zhotovit z různých druhů litiny. Ty se dělí podle tvaru vyloučeného grafitu na litinu s lupínkovým grafitem, s vermikulárním grafitem a s kuličkovým grafitem. [9][16]

Litina s lupínkovým grafit (šedá litina) je typ nejstarší. Litina je dostupná, dobře obrobitelná a u válců dosahuje přijatelných kluzných vlastností. Nevýhodou je její vysoká hustota a v porovnání s hliníkovými slitinami špatná tepelná vodivost. [9][16]

Litina s vermikulárním grafitem oproti šedé litině je schopna přenášet vyšší zatížení. Co se týče obrobitelnosti, tak v porovnání s šedou litinou jsou její vlastnosti horší. Kvůli relativně vysoké ceně se tento materiál používá u speciálních aplikací přepřínovaných vznětových motorů. Příkladem je motor Audi 6,0 V12 TDI, který se nachází v modelové řadě Q7 první generace. Další aplikaci této litiny nalezneme u motoru stejného výrobce 4,2 V8 TDI. Nasazení tohoto agregátu je u modelu A8 a také u modelu Q7. V porovnání s motorem Mercedes-Benz 4,0 V8 CDI, který má blok vyroben z hliníkové slitiny, je motor Audi dokonce o 4 kilogramy lehčí a navíc i výkonnější. [12][16]



Obr. 25 Motor Audi 6,0 V12 TDI [41]

Litina s kuličkovým grafitem (tvárná) je vývojově nejmladší. Její mechanické vlastnosti jsou velmi dobré a v porovnání s litinou s vermikulárním grafitem snese ještě vyšší zatížení. Nevýhodou však je vysoká cena materiálu, obtížnější slévání a nižší tepelná vodivost. [9][16]

Konečný požadovaný povrch válce je dosažen honováním, což vede k ulpívání oleje na stěnách válce. Díky obsahu grafitu v litině dosahuje povrch válce dobrých tribologických vlastností. [5][9][16]

4.3.2 MOKRÉ VKLÁDANÉ VÁLCE

Užití mokrých vložek válců lze dnes nalézt u těžkých strojů jako jsou např. traktory nebo nákladní vozy. Výhoda tohoto provedení je zakotvena v úsilí vynaloženém na opravu válce. Při možné poruše lze celkem jednoduše vyměnit válec za nový, kdy není nutná celková demontáž agregátu. Dalším pozitivem je přímý kontakt válce s chladicí kapalinou, čímž je přenos tepla dokonalejší. Provedení je v podstatě totožné, jako tomu bylo v minulosti. Vložka je vyrobena odstředivým litím nejčastěji z litiny a konečný kluzný povrch je dosažen honováním. Při montáži není na vložku potřeba působení velikých sil, tudíž nedochází k její deformaci. Příkladem je motor MAN D3876, který využívá mokré vložky válců a má blok motoru vyroben z litiny s vermikulárním grafitem. [9][17]



Obr. 25 Řez válcem motoru MAN D3876 [42]

4.3.3 SUCHÉ VLOŽKY VÁLCŮ

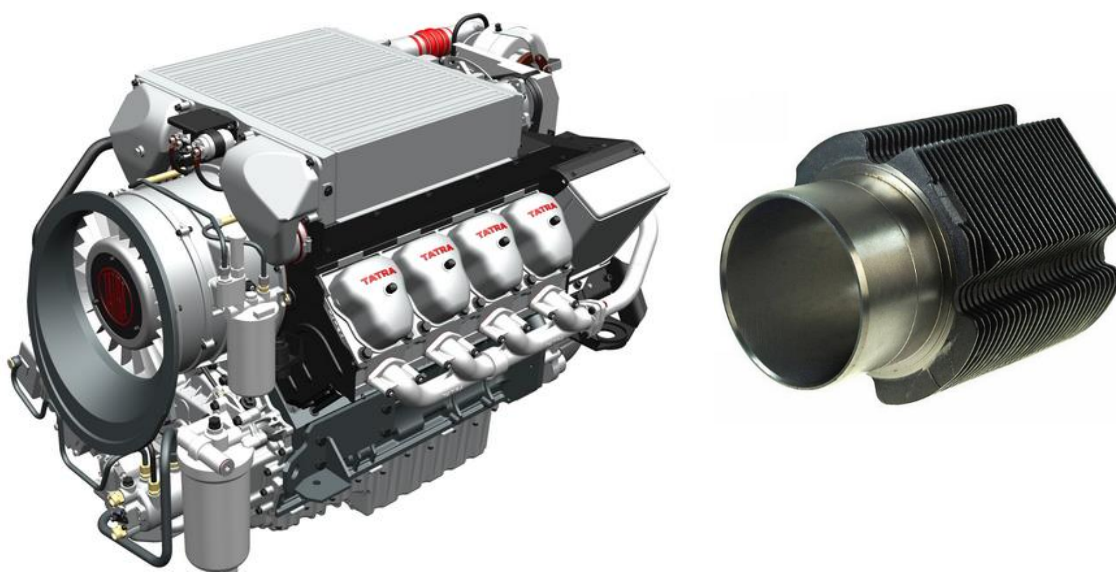
U bloků vyrobených z litiny se užívají dva typy suchých vložek válců. Podle způsobu instalace se dělí na volně vkládané a lisované. Sám název již v sobě skrývá cestu, jakou jsou válce v bloku usazeny. [9][17]

Volně vkládané vložky válců se před instalací ochladí, aby došlo ke změně průměru vložky. Následně se do bloku volně usadí. U tohoto typu se po vložení válce povrch nijak neopravává, jelikož vložka má povrch upravený honováním již při své výrobě. Během instalace vložky nedochází k její významné deformaci, proto po usazení již není nutné opracování válce. Důležitým prvkem je nákržek vložky, který zařizuje její přesné uložení. Na vložku působí síly od těsnění hlavy válců zprostředkované utažením hlavy válců. Jelikož má takto uložená vložka o něco menší vnější průměr než otvor v bloku motoru, tak je přenos tepla lehce omezen. [9][17]

Druhým typem jsou vložky lisované, ty jsou zhotoveny tak, že jejich průměr je větší než průměr díry v bloku motoru, a to maximálně o 0,08 mm. Válec se ochladí a silou je zalisován do díry v bloku. Při instalaci vložky však dochází k její částečné deformaci např. vzniku ovality, tudíž je po aplikaci nutné opracování povrchu válce. Vložky mají vnitřní průměr menší asi o 1 mm než konečný průměr, tudíž se nejdříve vrtají na požadovaný rozměr a na závěr se honují. Suché vložky se taktéž využívají pro opravy válců motoru, a to jak pro litinové bloky, tak i bloky z hliníkových slitin. [9][17]

4.3.4 VZDUCHEM CHLAZENÉ VÁLCE

Aplikace válců chlazených vzduchem zhotovených z litiny se dnes již moc nevyužívá. K úpadku dochází kvůli emisním limitům, které jsou pro vzduchem chlazené motory nedosažitelné v porovnání s kapalinou chlazenými motory. U menších motorů, např. pro zahradní techniku a motocykly, se přešlo na válce zhotovené z hliníkových slitin kvůli lepší tepelné vodivosti a lehčí konstrukci. Příkladem využití typu válců z litiny je motor TATRA T3D-928, který splňuje emisní normu EURO 5. Jeho válce jsou chlazené ventilátorem s řízenou regulací. Výhodou motoru je kompaktní řešení, jelikož chladicí systém je součástí motoru. Navíc údržba motoru je bezproblémová, jelikož neobsahuje téměř žádnou elektroniku a vše je tak řízeno mechanicky. [18]



Obr. 26 Motor T3-928 a jeho válec [18]

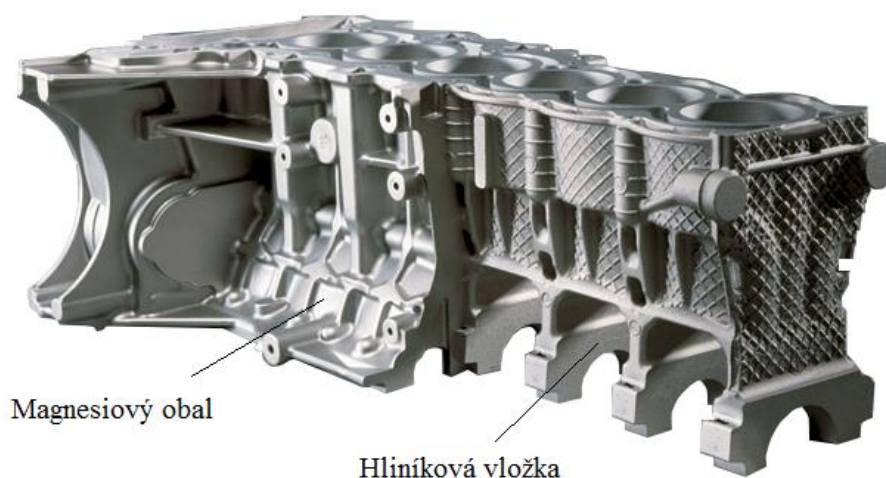
5 BUDOUCÍ MOŽNÁ ŘEŠENÍ

Požadavky dnešní doby na vysoký výkon, nízkou spotřebu paliva a emise motoru se stále zvyšují, proto je potřeba konstruovat motory z lehkých materiálů, jelikož lehčí konstrukce vede k nižší spotřebě paliva. Dnešní produkce je zaměřena především na lehké hliníkové slitiny a litinu s vermikulárním a kuličkovým grafitem. S použitím těchto materiálů se dosahuje velmi uspokojivých výsledků.

Již řadu let lze nalézt použití bloků motorů z hliníkových slitin u vznětových motorů osobních vozů, které jsou opatřeny litinovými vložkami, příkladem může být motor vozu Honda Accord 2,2 CTDI N22A1. S tímto řešením se docílí nižší váhy bloku motoru v porovnání s konvenčním blokem z litiny. Lze tedy předpokládat, že v následujících letech produkce menších vznětových motorů půjde cestou využití hliníkových slitin pro výrobu bloků motorů.

U sériových zážehových motorů lze předvídat produkci bloků motorů převážně z hliníkových slitin (monolitické a quasi-monolitické), jelikož dosahují dobrých výsledků a protože se od litinových bloků pomalu upouští. Taktéž lze predikovat ústup suchých vkládaných vložek, jelikož již řadu let se používá nanášení ochranných povlaků na povrchy válců, které tyto vložky dokáží s přehledem zastoupit.

Budoucí řešení bloků motorů a jejich válců se naskytá v kombinování použitých materiálů. Již v roce 2004 automobilka BMW vyvinula motor N52, jehož blok byl vyroben částečně z hořčíkové slitiny. V porovnání se slitinami hliníku mají hořčíkové slitiny až o 35% nižší hustotu a lepší slévárenské vlastnosti. Na druhou stranu jsou tyto slitiny velmi reaktivní. V kombinaci se železnými částmi a chladicí kapalinou dochází k jejich korozi a při vysokých teplotách v tuhém stavu mají sklony k tečení tzv. creepu. Velkou nevýhodou je taktéž riziko vzplanutí. Konstrukce horní části klikové skříně je vyrobena ze dvou částí. První je vložka z hliníkové slitiny, v níž jsou zhotoveny válce a kanálky pro chladicí kapalinu. Tato vložka je následně zalita v obalu bloku motoru z hořčíkové slitiny. V důsledku ztuhnutí a ochlazení obalu dojde k jeho stáhnutí a tím i k upevnění hliníkové vložky. S tímto řešením se dosahuje až 25% úspory hmotnosti motoru oproti celohliníkovému bloku motoru. [43]



Obr. 27 Řez blokem motoru BMW N52 [43]

V roce 2015 automobilka Ford vyvinula motor, který je konstrukčně lehce odlišný od běžných spalovacích motorů. Blok motoru je rozdělen na dvě části. První část bloku motoru jako jsou válce a uložení klikového hřídele jsou vyrobeny z litiny s vermikulárním grafitem a spodní díl je vyroben z hliníkové slitiny. Obě části jsou pak k sobě připevněny pomocí šroubů. Toto řešení vykazuje vysokou tuhost bloku motoru, ale také relativně lehkou konstrukci. Své uplatnění tento motor našel u modelu F-150. [23][24]



Obr. 28 Blok motoru Ford 2,7 V6 EcoBoost [44]

ZÁVĚR

Válce spalovacích motorů se řadí mezi nejdůležitější části motoru, spolu s hlavou válců a pístem ohraničují spalovací prostor. Při chodu motoru díky zapalování směsi paliva dochází ke vzniku vysokých teplot, kterým musí válce čelit. Válce by tedy měly disponovat vlastnostmi, jako je odolnost vůči vysokým teplotám, odolnost vůči opotřebení, vysoká tvrdost povrchu a dobré třecí vlastnosti povrchu. Materiály určené pro výrobu válců, které jsou v současnosti nejpoužívanější a zaručují tyto vlastnosti, jsou nadeutektické hliníkové slitiny a litiny. Podle způsobu výroby válce a konstrukce motoru se válce dělí na vkládané a zhotovené přímo v bloku motoru, kdy materiál bloku bývá nejčastěji hliníková slitina nebo litina. Použití obou materiálů nalezneme jak u zážehových, tak i vznětových motorů. Nelze jednoduše říci, který z těchto materiálů je pro výrobu válců a bloků motorů výhodnější, jelikož každý z nich má pozitivní i negativní přínos. Hliníkové slitiny mají nižší hustotu, lepší tepelnou vodivost, avšak nedosahují tak dobrých kluzných vlastností s výjimkou nadeutektických slitin. Litiny jsou v porovnání výhodnější z hlediska vysoké tuhosti bloku motoru a pohlcování vibrací, avšak jejich hustota je vysoká a tepelná vodivost nízká. Budoucí řešení se naskýtá v kombinování použitých materiálů bloku motoru a válců pro dosažení co nejnižší hmotnosti agregátu při zachování mechanických vlastností motoru.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] GANESAN, V. *IC engines*. 4th ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2012. ISBN 978-125-9006-197.
- [2] RAUSCHER, J. *Vozidlové motory* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Vozidlove%20motory.pdf>
- [3] MALEJEV, V.L. *Internal-Combustion Engines. Theory and Design*. New York: McGraw-Hill, 1945
- [4] Elektronická učebnice. *Eluc.kr-olomoucky.cz* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1443>
- [5] The Aluminium Automotive manual. *European-aluminium.eu* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://european-aluminium.eu/media/1575/aam-applications-power-train-3-cylinder-linings.pdf>
- [6] KOSTÁL, Jan a Bohuslav SUK. *Pístové spalovací motory*. Praha: ČSAV, 1963.
- [7] PEKÁREK, Stanislav. *Technologie oprav I: T8 Opravy pístových spalovacích motorů* [online]. Střední škola technická a zemědělská, NOVÝ JIČÍN [cit. 2017-03-28]. ISBN 978-80-88058-23-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/08.html>
- [8] KOŽOUŠEK, Josef. *Výpočet a konstrukce spalovacích motorů. II*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [9] Reconditioning of Aluminium Engine Blocks. *Electrosil.com* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.electrosil.com.au/pdf/KS.pdf>
- [10] Offenhauser. The Greatest Racing Engine Ever Built? *Onedirt.com* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.onedirt.com/features/offenhauser-the-greatest-racing-engine-ever-built/>
- [11] HAMMILL, Des. *Ford Small Block V8 racing engines 1962-1970: The Essential Source Book*. 2013. ISBN 18-458-4425-4.
- [12] ZURSCHEIDE, Jeffrey. *High-performance Subaru builder's guide*. North Branch, MN: CarTech, 2007. ISBN 978-193-2494-518.
- [13] PETTITT, Joe. *Sport compact turbos*. North Branch, MN: Cartech, 2005. ISBN 18-840-8988-7.
- [14] ALBOND®—rough surface, improved fuel consumption. *Mahle.com* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://www.mahle.com/mahle/en/news-and-press/press-releases/albond--rough-surface-improved-fuel-consumption--502>
- [15] KARL U., Kainer. *Metal matrix composites custom-made materials for automotive and aerospace engineering*. Weinheim: John Wiley, 2006. ISBN 978-352-7608-270.

- [16] MAHLE INTERNATIONAL GMBH. *Cylinder components: Properties, applications, materials*. Springer, 2016. ISBN 978-3-658-10034-6.
- [17] Darton Tech Center. *Darton-international.com* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: http://www.darton-international.com/tech_ctr.html
- [18] Motory. *Tatra.cz* [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/motory/>
- [19] DUFEK, Jiří a Jan KRÁLÍK. *Historie automobilů Škoda: od roku 1905 do současnosti*. Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5946-3.
- [20] Ford launches plasma-sprayed cylinder bores on 2011 Shelby V8. *Sae.org* [online]. [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://articles.sae.org/7624/>
- [21] SLEEVE DESIGN & INSTALLATION. *Raceenginedevelopment.com* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.raceenginedevelopment.com/services/sleeve-design-and-installation/>
- [22] Compacted graphite iron – A material solution for modern diesel engine cylinder blocks and heads. *Foundryworld.com* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.foundryworld.com/uploadfile/200912130928203.pdf>
- [23] Ford's new 2.7-L EcoBoost V6 designed for lighter aluminum F-150. *Sae.org* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://articles.sae.org/13388/>
- [24] Leave the Iron On: Ford Buries New-Age Iron in Its Aluminum-Intensive 2015 F-150. *Caranddriver.com* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.caranddriver.com/features/leave-the-iron-on-ford-buries-new-age-iron-in-its-aluminum-intensive-2015-f-150>
- [25] Complexity deconstruction. *Pinterest.com* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/46/2d/8f/462d8f44975aea80799548cbd629468e.jpg>
- [26] How does a 4 stroke engine work ? *Mechstuff.com* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://i2.wp.com/mechstuff.com/wp-content/uploads/2015/10/4-stroke-engine.jpg?w=600>
- [27] Diesel Engine Construction. *Marineengineering.org.uk* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.marineengineering.org.uk/page46.html>
- [28] CAVITATION – EROSION – ELECTROLYSIS. *Noordeman.com.au* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.noordeman.com.au/wp-content/uploads/2014/04/cavitation-liner.jpg>
- [29] Sada pístů a válců 1.3 MAHLE. *Beetle.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://www.beetle.cz/obsah/img/2016/08/111198058J.jpg>
- [30] Monoblok válce a hlavy válců motoru Tatra 57. *Bazos.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://www.bazos.cz/img/1m/852/71753852.jpg>

- [31] Drake Offenhauser Indy Engine. *Turbosquid.com* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://previewcf.turbosquid.com/Preview/2014/05/24__21_06_10/offy-hilborn-EXP-1.jpgbfecdc64-3b50-4121-8c83-1386ce071862Larger.jpg
- [32] Cylinder liners. *Timesoftrade.com* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.timesoftrade.com/images/users/u-1389/productimages/PI1439884207.jpg>
- [33] Dry liner. *Alibaba.com* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1Ym80KpXXXXbDXpXXq6xXFXXxz/31358394-Dry-type-guangzhou-liner.jpg>
- [34] Ford Windsor V8 351. *Paulster2.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://paulster2.com/P2_blog/wp-content/uploads/2017/01/ford-racing-boss-windsor-351-block_100201885_m.jpg
- [35] Honing of Thermal Coated Cylinder Bores. *Mfgnewsweb.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.mfgnewsweb.com/archives/4/42077/Automotive-Motorsports-Mfg-Tech-may15/Honing-of-Thermal-Coated-Cylinder-Bores.aspx>
- [36] Passenger Cars. *Gfau.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://www.gfau.com/content/gfau.com/en/products-and-solutions/passenger-car/_jcr_content/par/column_control_5/col2/text_image/image.main_column.jpg/1349175274069.jpg
- [37] IAG Stage 4 Tuff EJ25 Closed Deck Case Halves, O-Ringed, Bored & Honed to 99.75mm, 14mm Head Stud Conversion, Pinned Mains, ARP Case Bolts. *Iagperformance.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://cdn3.volusion.com/dtepk.qqepe/v/vspfiles/photos/IAG-ENG-1807-2.jpg?1486373979>
- [38] Subaru / FHI 2.5L Turbo Short Block Engine Case Half Set for 2004-17 STI, 06-14 WRX, 05-09 LGT, 04-13 FXT. *Iagperformance.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://cdn3.volusion.com/dtepk.qqepe/v/vspfiles/photos/11008AA930-2.jpg?1486373979>
- [39] Engine Problems - Warranty?? Help!!!. *Planet-9.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://www.planet-9.com/gallery/files/2/6/9/5/lokasil_bore_liner_1_177469_original.jpg
- [40] Availability of the New Modular Integrated Deck (M.I.D.) for Nissan's VQ35DE. *Darton-international.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://www.darton-international.com/img/vq35-block_pr.png
- [41] Audi Q7 V12. *Pinterest.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/6c/19/25/6c19250543aa45ddbf1caef7a9154962.jpg>
- [42] MAN D3876. *Motorsaegen-portal.de* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://up.picr.de/21377061kn.jpg>
- [43] Inside the N52 Engine. *Mwerks.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://www.mwerks.com/artman/publish/features/printer_960.shtml

- [44] Leave the Iron On: Ford Buries New-Age Iron in Its Aluminum-Intensive 2015 F-150. *Caranddriver.com* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://media.caranddriver.com/images/media/51/leavetheironon-inline2-photo-587199-s-original.jpg>